

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 62-227102

(43)Date of publication of application : 06.10.1987

(51)Int.Cl.

G02B 5/28

G02B 1/10

(21)Application number : 61-068716

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 28.03.1986

(72)Inventor : KITAZAWA TOMOKO
NAKANO HIROTAKA

(54) OPTICALLY CONTROLLING METHOD OF FILM THICKNESS OF MULTILAYERED FILM

(57)Abstract:

PURPOSE: To obtain a multilayered dielectric film filter having high spectral characteristics with high reproducibility by controlling the optical film thickness or film thickness with high precision when the optical film thickness is different from that of a dielectric multilayered film having a refractive index close to that of a substrate which has been already prep'd. from a material to have a certain optical film thickness.

CONSTITUTION: In a process for controlling optical film thickness of a multilayered film consisting primarily of a multilayered dielectric film formed on a substrate and having $\lambda_0/4$ optical film thickness consisting primarily of a multilayered dielectric film comprising an alternate layer of a material having high refractive index and a material having low refractive index having a different optical film thickness from $\lambda_0/4$, the optical film thickness of the layer comprising the high refractive index material is assumed to be $\lambda_1/4$, and that of a succeeding layer is assumed to be $\lambda_2/4$ [wherein at least one of λ_1 and λ_2 is not equal to λ_0 , and $\lambda_2 = a\lambda_1 (a \neq 1)$]. In this case, the optical film thickness $\lambda_1/4$ is controlled by detecting the limiting value of the transmittance or reflectance of the light having a wavelength corresponding to $\lambda_1/4$ of monochromatic light, and the optical film thickness $\lambda_2/4$ is controlled by detecting the limiting value of the transmittance and reflectance of light having a wave length corresponding to n times of the $1/4$ wavelength of monochromatic light having a wavelength corresponding to $\{(a+\alpha)/n\} \cdot \lambda_1$.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

昭62-227102

⑮ Int. Cl.⁴G 02 B 5/28
1/10

識別記号

庁内整理番号

7529-2H
8106-2H

④ 公開 昭和62年(1987)10月6日

審査請求 未請求 発明の数 1 (全8頁)

⑬ 発明の名称 多層膜の光学的膜厚制御方法

⑰ 特 願 昭61-68716

⑱ 出 願 昭61(1986)3月28日

⑲ 発 明 者 北 沢 倫 子 横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜金属工場
内⑲ 発 明 者 中 野 博 隆 横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜金属工場
内

⑳ 出 願 人 株 式 会 社 東 芝 川崎市幸区堀川町72番地

㉑ 代 理 人 弁 理 士 鈴 江 武 彦 外2名

明 細 書

1. 発明の名称

多層膜の光学的膜厚制御方法

2. 特許請求の範囲

(1) 基板上に形成された光学的膜厚が $\lambda_0/4$ (λ_0 はある波長) の高屈折率物質と低屈折率物質の交互層からなる誘電体多層膜を主体とし、光学的膜厚が上記 $\lambda_0/4$ と異なる層をも含む多層膜の光学的膜厚制御方法において、

上記高屈折率物質のある層の光学的膜厚が $\lambda_1/4$ であり、それに引続く低屈折率(又は中間の屈折率)物質の層の光学的膜厚が $\lambda_2/4$ である場合(但し、 λ_1 と λ_2 の少なくとも一方は λ_0 と等しくなく、又、 $\lambda_2 = \alpha\lambda_1$ とする($\alpha \neq 1$)).

上記光学的膜厚 $\lambda_1/4$ は、あるモータ基板を用いて、単色光 λ_1 の $1/4$ 波長に相当する光の透過率又は反射率の極値を検出することにより、又、上記光学的膜厚 $\lambda_2/4$ は、上記あるモータ基板と同一のものをを用いて、単色光 $\frac{1+\alpha}{n} \cdot \lambda_1$ (n は自然数) の $1/4$ 波長の n 倍に相当する光の透過率

又は反射率の極値を検出することにより、制御することを特徴とする多層膜の光学的膜厚制御方法。

(2) 上記単色光の波長 $\frac{1+\alpha}{n} \cdot \lambda_1$ において、 $n=2$ とし、 $1/2$ 波長に相当する光の値を制御する特許請求の範囲第1項記載の多層膜の光学的膜厚制御方法。

(3) 上記多層膜が誘電体層のみからなるエッジ・フィルタである場合の特許請求の範囲第1項及び第2項記載の多層膜の光学的膜厚制御方法。

(4) 上記エッジ・フィルタが、短波長域通過フィルタである場合の特許請求の範囲第1項乃至第3項記載の多層膜の光学的膜厚制御方法。

3. 発明の詳細な説明

[発明の技術分野]

この発明は、誘電体薄膜を用いた多層膜の光学的膜厚制御方法に係り、特に誘電体多層膜において異なる光学的膜厚の層を有する場合の光学的膜厚制御方法に関する。

〔背景技術とその問題点〕

一般に薄膜の膜厚測定法は、大別して薄膜の形成中に行なう方法と、薄膜を形成した後測定する方法がある。しかし、薄膜の膜厚あるいは膜質を制御する目的のためには、前者の方法を取らなければならない。

ところで、光学や光学電子工学を目的とした誘電体多層膜の形成には、 $\lambda/4$ 波長の光学的膜厚、あるいはその整数倍を制御するが多い。誘電体薄膜の屈折率及び膜強度等の膜質は基板温度に依存するので、誘電体薄膜については、水晶振動子法ではなく、膜形成中の透過率あるいは反射率を測定しながら膜厚、特に光学的膜厚を制御する光電式膜厚制御法が優れている。そして、この光電式膜厚制御法には、単色測光法と2色測光法がある。

さて、誘電体多層膜を用いて所望の分光特性を有するフィルタを得ようとする場合、全ての層の光学的膜厚が $\lambda_0/4$ であることは、種々の欠点がある。例えば、第8図に示すような分光特

性において、透過率が高いことが望まれるようなフィルタでは、透過率のリップルは極力抑制することが要求される。第8図に示す特性を有する層数5層程度の多層膜でさえ、リップルの谷で80%の値となる。層数が増すに従い、リップルの数は多く、谷での透過率の値は低くなる。

誘電体多層膜において、しばしば、異なる光学的膜厚の層を形成する必要が生ずるが、例えば上述の透過帯におけるリップルを低減させることを目的とする場合も、これに相当する。この場合、誘電体多層膜、あるいはその一部分として、異なる光学的膜厚が夫々 $\lambda_1/4$ と $\lambda_2/4$ である高屈折率物質Hと低屈折率物質Lからなる2層の場合を例にとると、単色測光法の場合、第4図に示すように、波長 λ_1 を有する単色フィルタ26により、Hの層を $\lambda_1/4$ だけ形成する。その後、同一のモニタ基板2a~2eにより、引続き波長 λ_2 を有する単色フィルタ26により、Lの層を $\lambda_2/4$ だけ形成しようとしても、第9

図に示すように、極値においては、 $\lambda_2/4$ の光学的膜厚は制御されず、 $\lambda_x/4$ となってしまう。尚、第9図では、 $\lambda_1 < \lambda_2$ の場合を図示した。又、 $\lambda_1 > \lambda_2$ の場合を第10図に示すが、同様にLの層の光学的膜厚 $\lambda_2/4$ を極値において制御することは出来ない。尚、図中の点線は、仮に波長 λ_2 を有する単色フィルタ26で監視した場合のHの層の蒸着中の透過率曲線を示す。又、第4図中、1はモニタ部、10は真空槽、11はドーム、12~14は基板、20は蒸着材料、21は光源、22は受光部、23はルツボ、24は電子銃、25は単色フィルタである。

上述のように、各層で光学的膜厚が異なる場合には、単色フィルタを λ_1 から λ_2 へ交換するだけでなく、モニタ基板2a~2eをも新たに交換して、夫々所望の $\lambda_1/4$ 並びに $\lambda_2/4$ （あるいはその整数倍）を制御しなければならない。しかし、低屈折率物質Lとしては、通常、ガラス基板の屈折率（例えばBK-7のガラス基板は1.51）に近い値の物質、例えば二酸化シリ

コン（屈折率は1.47）が用いられる。第11図に示すように、ガラス基板上へ直接低屈折率物質Lを形成しても、蒸着中の光量変化、従って透過率曲線（あるいは反射率曲線）の変化量が小さく、 $\lambda_2/4$ の極値を検出することが困難であった。

更に、2色測光法の場合も同様で、ガラス基板上へ二酸化シリコンの如く低屈折率物質Lを形成する場合の蒸着中の分光透過率の変化は、波長 λ_0 の点で最大で、その絶対値は第11図のLの形成の開始の透過率の値と、 $\lambda_2/4$ を形成した終了時の透過率の値の差である。従って、 λ_0 を中心とした短波長側や長波長側の波長 λ_1 や λ_2 における透過率（あるいは反射率）の変化量は、波長 λ_0 においてよりも更に小さく、 $\lambda_2/4$ の極値を検出することが困難であった。

現実には、単色測光法並びに2色測光法の両方において、第4図の受光部22や第5図の受光部32、33の感度に起因するノイズが重畳され、更に $\lambda_2/4$ の極値検出を困難にしている。

たとえ、第4図の光源21からの光をチョッピングしても、蒸着中の透過率（あるいは反射率）曲線にノイズが発生し、極値の検出を更に困難にする。ノイズ発生は、赤外領域での受光素子を用いる場合に、可視光領域よりも更に顕著になる。

異なる光学的膜厚を有する低屈折率物質の制御は、特に層数の多い短波長域通過フィルタや長波長域通過フィルタのようなエッジ・フィルタのリップルの低減、並びにその分光特性の再現性を得る場合には、大きな問題で、従来しればそれが不可能であり、誘電体多層膜フィルタを高歩留りで得るのは困難であった。

[発明の目的]

この発明は、上述の従来技術の問題点に鑑みなされたもので、基板と近い屈折率を有する物質で、光学的膜厚が既に形成されている層と異なる場合に、高精度で光学的膜厚あるいは膜厚を制御し、以て高性能の分光特性を有する誘電体多層膜フィルタを、再現性良く得られる多層

る多層膜の光学的膜厚制御方法である。

[発明の実施例]

以下、この発明の一実施例を、図面を用いて詳細に説明するが、形成する誘電体多層膜フィルタは、エッジ・フィルタとして短波長域通過フィルタを例にとり詳述する。

即ち、この短波長域通過フィルタは、例えば光合分波器用のフィルタとして用いられるものであり、その構成は例えば層数は27層で、次の如くとする。

基板 | 1.05M・1.05L・1.05H・L・(H・L)¹⁰・

1.05H・1.05L・1.05M | 接着剤 (I)

この誘電体多層膜フィルタは、構成(I)に示す接着剤を介して、他の誘電体ブロックに貼り合わされており、ブロック全体で光合分波器を形成している。

尚、上記構成(I)において、H、L、Mは、夫々光学的膜厚が $\lambda_0/4$ の高屈折率物質、低屈折率物質、中間の屈折率を有する物質を表わし、具体的には、例えば夫々二酸化チタン、二酸化シ

膜の光学的膜厚制御方法を提供することを目的とする。

[発明の概要]

この発明は、基板上に形成された光学的膜厚が $\lambda_0/4$ (λ_0 はある波長)の高屈折率物質と低屈折率物質の交互層からなる誘電体多層膜を主体とし、光学的膜厚が上記 $\lambda_0/4$ と異なる層をも含む多層膜の光学的膜厚制御方法において、上記高屈折率物質のある層の光学的膜厚が $\lambda_1/4$ であり、それに引続く低屈折率（又は中間の屈折率）物質の層の光学的膜厚が $\lambda_2/4$ である場合〔但し、 λ_1 と λ_2 の少なくとも一方は λ_0 と等しくなく、又、 $\lambda_2 = \alpha\lambda_1$ とする ($\alpha \neq 1$)。〕、上記光学的膜厚 $\lambda_1/4$ は、あるモニタ基板を用いて、単色光 λ_1 の $1/4$ 波長に相当する光の透過率又は反射率の極値を検出することにより、又、上記光学的膜厚 $\lambda_2/4$ は、上記あるモニタ基板と同一のものを用いて、単色光 $\frac{1+\alpha}{n} \cdot \lambda_1$ (n は自然数)の $1/4$ 波長の n 倍に相当する光の透過率又は反射率の極値を検出することにより、制御す

リコン、酸化ジルコニウムである。今、 $\lambda_0 = 1190 \text{ nm}$ とすれば、 λ_0 の1.05倍である λ_1 は $\lambda_1 = 1250 \text{ nm}$ となる。つまり、1.05H、1.05L、1.05Mは、夫々光学的膜厚が $\lambda_1/4$ の高屈折率物質、低屈折率物質、中間の屈折率を有する物質を表わす。

即ち、上記構成(I)において、基板側から数えて第3層(1.05H)及び第4層目(L)を形成するには、従来の方法では、夫々 $\lambda_1 = 1250 \text{ nm}$ 、 $\lambda_2 = 1190 \text{ nm}$ として、 $1/4$ 波長を形成すると第11図に示す如くになってしまい、第4層目を形成する際透過率の変化の極値を検出することができず、正確に膜厚制御ができない。この発明による第3層及び第4層の蒸着時の透過率曲線を第1図に示す。即ち、第3層目の1.05Hの膜のあるモニタ基板を用いて、単色光 λ_1 の $1/4$ 波長に相当する光の透過率又は反射率の極値を検出して制御する。この後、第4層目のLの膜を、同一のモニタ基板を用いて、単色光 λ_2' の $1/4$ 波長の n 倍（第1図では2倍）に相当する光の透過率

又は反射率の極値を検出して制御する。尚、第1図に示すように λ_2' の $\frac{1}{2}$ 波長とは、半分の $\lambda_2'/2$ は既に形成されており、全光学的膜厚が $\lambda_2'/2$ の時点の意味である。ここで、各単色光 λ_1, λ_2' は、第1図から判るように、 $\frac{1}{4}\lambda_1 + \frac{1}{4}\lambda_2 = \frac{1}{4}\lambda_2' + \frac{1}{4}\lambda_2'$ であり、

$$\lambda_2' = \frac{1}{2}(\lambda_1 + \lambda_2) \quad \text{..... (II)}$$

となる。 λ_1 は第3層目の1.05Hに対応するものであり、 $\lambda_1 = 1250 \text{ nm}$ とする。また λ_2 は第4層目のHに対応するものであり、 $\lambda_2 = \lambda_0 = 1190 \text{ nm}$ とする。従って、 λ_2' としては、 $\lambda_2' = 1220 \text{ nm}$ が用いられる。なお、 λ_1 と λ_2 との間には、 $\lambda_2 = \frac{1}{1.05}\lambda_1$ なる関係があり、式(II)は $\lambda_2' = \frac{1}{2}(\lambda_1 + \frac{1}{1.05}\lambda_1)$ 、つまり

$$\lambda_2' = \frac{1 + \frac{1}{1.05}}{2} \cdot \lambda_1 \text{ で示される。}$$

実際に構成(I)を形成する際の層数と、使用する物質、モニタ基板、単色フィルタの関係を第2図に示す。第1図は第2図における第3層目と第4層目に相当する部分を詳細に示したもの

た膜となるのを防ぐため、酸素を例えば $6 \times 10^{-5} \text{ Torr}$ 導入し、反応性蒸着を用いる。基板温度は、例えば 300°C とする。

尚、得られる二酸化チタンの蒸着膜の屈折率は2.3であり、二酸化シリコンの蒸着膜の屈折率は1.46乃至1.47であり、酸化ジルコニウムの蒸着膜の屈折率は1.87であった。

さて、上述の方法により誘電体多層膜の形成が終了したら、基板温度を下げ、大気圧に戻して真空槽10より取り出す。得られた構成(I)の短波長域通過フィルタへ空気側より入射光が23で入射する場合の、上記接着剤にてBK-7のガラス基板と貼り合せ後の分光特性の測定結果の一例を、第6図並びに第7図に示す。第6図は分光透過率曲線、第7図は第6図と同じものを損失で表わした場合の分光特性であり、第6図並びに第7図に示す斜線は、前述の本フィルタに要求される性能あるいは規格であり、これ以上の特性が要求されることを示す。

尚、分光特性の測定に際しては、2枚のBK-

である。第2図において、第1層目からと第3層目までは単色フィルタ $\lambda_1 = 1250 \text{ nm}$ を用いて形成し、第4層目で $\lambda_2 = 1220 \text{ nm}$ を用い第1図に示すようにLを形成し、第5層目から第24層目までは $\lambda_2 = 1190 \text{ nm}$ を用い、第25層目から第27層目までは再び $\lambda_1 = 1250 \text{ nm}$ を用いる。

以上の光学的膜厚制御方法により、第4図に示す電子ビーム蒸着装置を用いて誘電体多層膜を形成するが、他の蒸着条件は次の如くである。

即ち、蒸発源を収納するルツボ23は、二酸化チタンと二酸化シリコン及び酸化ジルコニウムを複数個ずつ具備可能な図示しない円板型と扇型のものである。所定の物質を蒸着させる場合、電子銃24からエミッション電流が到達する位置へ回転させて持って来る。電子銃24の加速電圧は例えば6 kVであり、エミッション電流値は例えば二酸化チタンの場合300 mA、二酸化シリコンの場合70 mA、酸化ジルコニウムの場合350 mAである。二酸化チタンの蒸着の場合、二酸化チタンが還元して黒色に着色し

7のガラス基板を接着剤にて貼り合せたものをリファレンスとした。分光特性の測定の結果、この実施例において通過帯域のリップル並びに阻止域での減衰量共に充分な性能のものが得られることが判る。

[発明の変形例]

上記実施例では、第2図に示す如く、各モニタ基板2a ~ 2nにHとLを2層ずつ形成し、制御した場合を例にとり説明したが、同一の単色フィルタ(制御フィルタ)を用いる場合には、透過率(あるいは反射率)の変化が小さくならず、制御可能な範囲内においては、2層以上を同一のモニタ基板によって制御出来るのは勿論である。又、上記実施例では、第1図、第2図、第3図に示したように、 λ_2' を用いるのに、1個のモニタ基板において第2層目に適用したが、構成(I)において、第1層目から第4層目まで同一のモニタ基板を用いて形成する際の、第4層目に適用しても良い。しかし、同一のモニタ基板上に多くの層数を形成すると、誤差が重

置られるのと、簡潔さの点からも、上記実施例の如く、光学的膜厚が変化する場合、変化する層をモニタ基板上で第2層目に形成する方法が優れている。

又、上記実施例では、単色測光法を例にとり詳述したが、2色測光法の場合にも、この発明を適用することが出来る。即ち、構成(1)の基板側から数えて第1層目と第2層目は、 λ_1 ($= 1250 \text{ nm}$)を中心として、波長 $1/\lambda$ に対して等しい距離にある λ_a 、 λ_b を第5図に示す単色フィルタ34、35に用いれば、同一モニタ基板2aを用いて成膜及び制御出来る。又、基板側から数えて第3層目は、モニタ基板を2bに変え、単色フィルタ34、35として、上と同じ λ_a 、 λ_b を用いてHを形成し、次に λ_2' ($= 1220 \text{ nm}$)を中心として、波長 $1/\lambda$ に対して等しい距離にある λ_a' 、 λ_b' を単色フィルタ34、35に用いてLを形成する。すると、受光部33と34によって測定した蒸着中の透過率(あるいは反射率)曲線において、等しい透過率(あるいは反射率)

めに、異なる膜厚の層の光学的膜厚を制御する場合等にも適用出来る。更に、誘電体層のみでなく、金属膜等を含むフィルタにも適用出来る。

又、上記実施例では、短波長域通過フィルタのリップル低減を目的とする場合を例にとり詳述したが、リップル低減の目的のみでなく、他の目的にも、この発明は適用出来るのは勿論である。

又、上記実施例では光合分波器に使用されるため、デバイスの設計上入射角を傾斜させたが、通常の分光特性は垂直入射の場合が多い。

又、上記実施例では、モニタ基板がガラスであり、ガラスに近い低屈折率物質が前の層と膜厚あるいは光学的膜厚が異なる場合につき詳述したが、他の基板でそれに近い屈折率を有する薄膜を形成するため、直接形成したのでは、蒸着中の透過率(又は反射率)の変化が少ない場合にも、この発明は適用出来るのは勿論である。更に、単層膜として直接形成しても、透過率変化を制御出来る場合でも、各層の膜厚あるいは

となる時がある。あるいは、その差を取って零となるところを検出しても良い。この時に蒸着を終了すれば、 $\lambda_2/4$ が制御されたことになる($\lambda_2 = 1190 \text{ nm}$ である)。以下、同様の方法により、2色測光法にて制御される。

又、上記実施例としては、第1図に示すように、 $\lambda_1 > \lambda_2$ の場合を例に取り詳述したが、異なる(光学的)膜厚として、 $\lambda_1 < \lambda_2$ の場合には、蒸着中の透過率変化は第3図に示すようになり、同様に、この発明が適用出来る。

又、上記実施例では $n = 2$ であり、 λ_2' の $1/2$ 波長に相当する極値を制御することにより、Lの任意の膜厚を制御してきたが、 $n = 3, 4, \dots$ の自然数の場合にも、 $\lambda_2' = \frac{1+a}{n} \cdot \lambda_1$ の $n/4$ 波長に相当する極値を制御すれば、Lの任意の膜厚を制御することが出来る。

又、上記実施例では、短波長域通過フィルタを形成する場合を例にとり説明したが、この発明は他の型の誘電体多層膜フィルタ、例えば長波長域通過フィルタのリップルを低減させるた

光学的膜厚が異なる場合、モニタ基板を1枚用いて単色フィルタを変えることにより、多層の膜厚あるいは光学的膜厚を制御する場合にも適用出来る。

又、上記実施例では、電子ビーム蒸着法を用いた場合を例にとり説明したが、他の成膜方法、例えばイオン・プレーティング法やスパッタリング法による成膜装置に、この発明を盛り込んでも良いのは勿論である。

[発明の効果]

この発明によれば、前層と異なる任意の光学的膜厚を有し、モニタ基板の屈折率の値に近い薄膜の光学的膜厚あるいは膜厚を単色測光法及び2色測光法のいずれによっても、正確に制御可能となり、任意の誘電体薄膜の所望の膜厚及び光学的膜厚を制御することが可能となった。

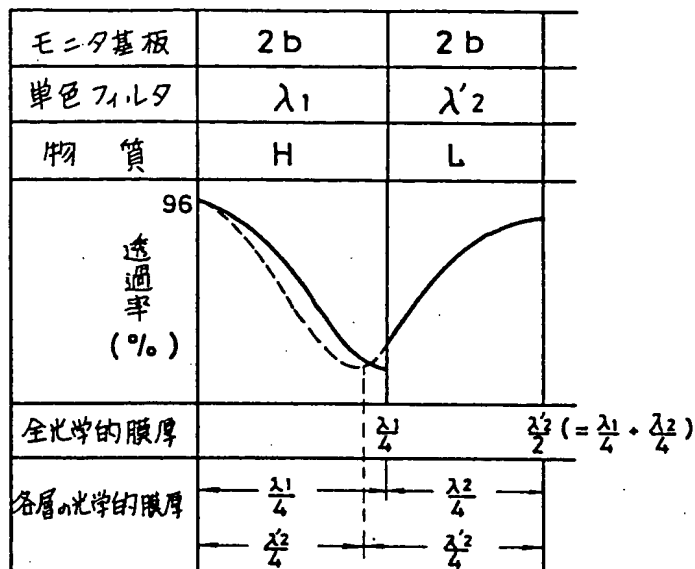
4. 図面の簡単な説明

第1図及び第2図はこの発明の一実施例に係る多層膜の光学的膜厚制御方法を用いた場合の蒸着中の透過率曲線(第1図は短波長域通過フ

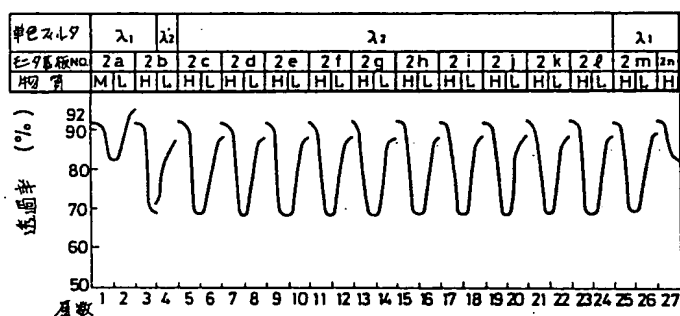
フィルタの第3層及び第4層、第2図は短波長域通過フィルタの全体)を示す特性曲線図、第3図はこの発明の変形例に係る多層膜の光学的膜厚制御方法を用いた場合の蒸着中の透過率曲線を示す特性曲線図、第4図は従来及びこの発明で使用する単色測光法による電子ビーム蒸着装置を示す構成図、第5図は同じく2色測光法による装置を示す構成図、第6図及び第7図はこの発明の多層膜の光学的膜厚制御方法により得られた短波長域通過フィルタの分光特性の例を示す特性曲線図、第8図は2色測光法の原理図、第9図乃至第11図は従来の光学的膜厚制御方法による蒸着中の透過率曲線を示す特性曲線図である。

2 a , 2 b , 2 c , 2 d , 2 e … モニタ基板、
1 2 , 1 3 , 1 4 … 製品となる基板、2 0 … 蒸着材料、2 1 … 光源、2 4 … 電子銃、2 2 ,
3 2 , 3 3 … 受光部、2 6 , 3 4 , 3 5 … 単色フィルタ。

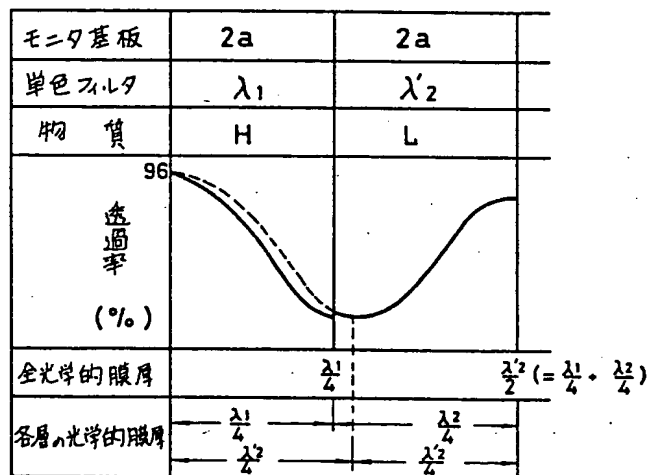
出願人代理人 弁理士 鈴 江 武 彦



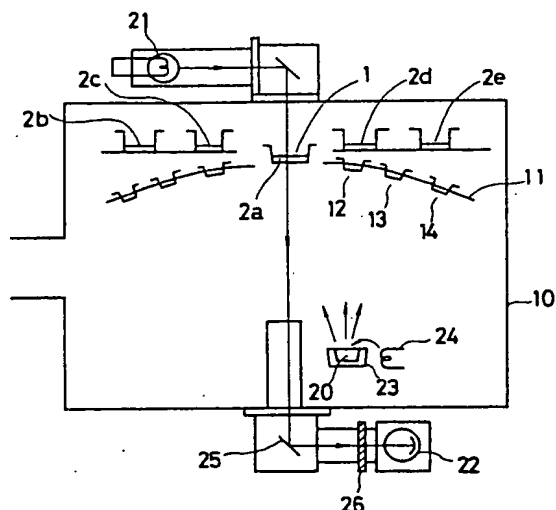
第 1 図



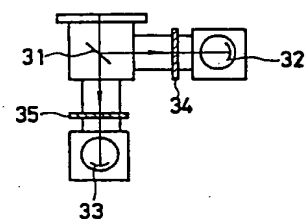
第 2 図



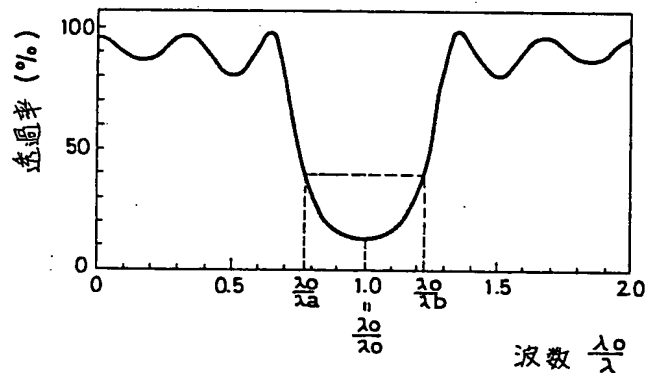
第 3 図



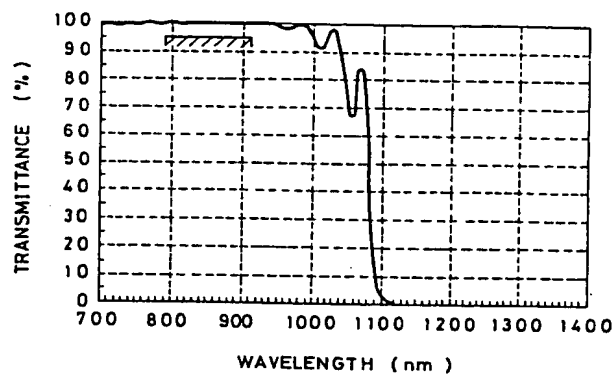
第 4 図



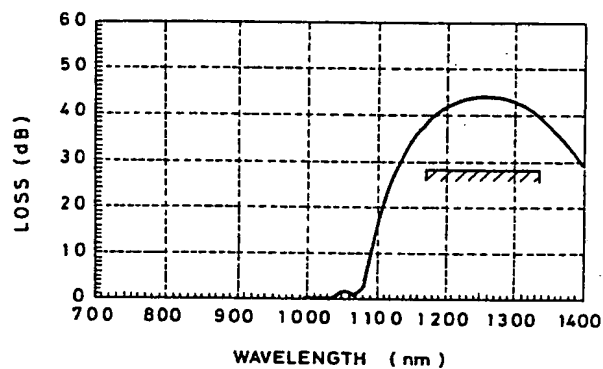
第 5 図



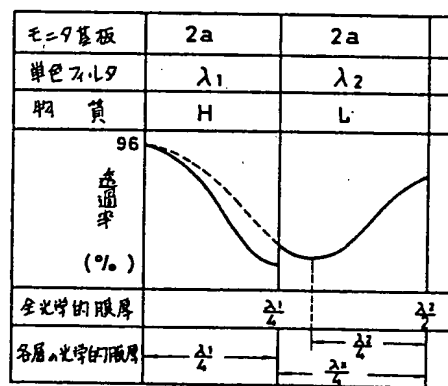
第 8 図



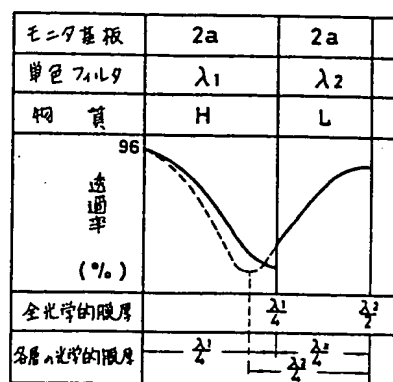
第 6 図



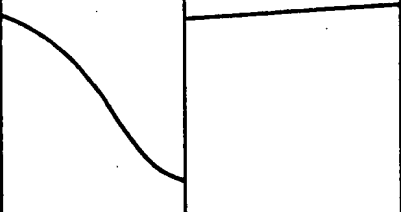
第 7 図



第 9 図



第 10 図

モニタ基板	$2a$	$2a$	
単色フィルタ	λ_1	λ_2	
物質	H	L	
透過率 (%)			
全光学的膜厚	$\frac{\lambda_1}{4}$	$\frac{\lambda_1}{4} + \frac{\lambda_2}{4}$	
各層の光学的膜厚	$\frac{\lambda_1}{4}$	$\frac{\lambda_2}{4}$	

第11図